

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 025**

51 Int. Cl.:

<b>G01N 1/22</b>	(2006.01) <i>G01N 21/17</i>	(2006.01)
<b>G01N 1/24</b>	(2006.01) <i>G01N 21/35</i>	(2014.01)
<b>G01N 1/26</b>	(2006.01) <i>G01N 21/39</i>	(2006.01)
<b>G01N 21/11</b>	(2006.01) <i>H01F 27/12</i>	(2006.01)
<b>G01N 21/25</b>	(2006.01)	
<b>G01N 33/28</b>	(2006.01)	
<b>G01N 21/3504</b>	(2014.01)	
<b>G01N 21/03</b>	(2006.01)	
<b>G01N 21/33</b>	(2006.01)	
<b>G01N 21/65</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2018 PCT/CA2018/050298**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.09.2018 WO18165749**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2018 E 18767035 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2025 EP 3596443**

54 Título: **Dispositivos, sistemas y procedimientos de análisis de gases disueltos**

30 Prioridad:

**13.03.2017 US 201715458010**  
**13.03.2017 US 201715458014**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.04.2025**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.00%)**  
**Bruggerstrasse 66**  
**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**BUIJS, HENRY L.;**  
**BIBEAU, LOUIS-PHILIPPE A.;**  
**OUELLET-BERLANGER, ALEX y**  
**DESBIENS, RAPHAEL N.**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 3 014 025 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Dispositivos, sistemas y procedimientos de análisis de gases disueltos

**CAMPO TÉCNICO**

5 La presente divulgación se refiere al campo del análisis de gases disueltos. Más concretamente, la presente divulgación se refiere al análisis de gases disueltos para transformadores.

**ANTECEDENTES**

10 Los dispositivos electromagnéticos, tales como los transformadores eléctricos, pueden experimentar ineficiencias eléctricas y pueden generar un calor significativo en funcionamiento. Reducir las ineficiencias eléctricas y eliminar el exceso de calor de estos dispositivos puede prolongar su vida útil, mejorar su rendimiento y reducir sus necesidades de mantenimiento. Los fluidos, tales como los fluidos dieléctricos, pueden utilizarse como medio de refrigeración para eliminar el calor de los dispositivos y pueden proporcionar una capa de aislamiento eléctrico para suprimir el efecto corona y el arco eléctrico.

En funcionamiento, dichos fluidos refrigerantes y/o aislantes pueden desarrollar gases disueltos. El análisis de los gases disueltos en los fluidos de los transformadores puede revelar información útil sobre su estado de funcionamiento.

15 El documento US 2016/0266085, en el que se basa el preámbulo de la reivindicación 1, desvela un aparato para detectar gas en un dispositivo de alta tensión lleno de un medio aislante. El aparato comprende una entrada para introducir un gas portador y una salida para descargar un gas portador; al menos un sensor de gas para detectar un gas; una primera bomba para transportar el gas portador en el aparato; una membrana que al menos consiste en al menos un material semipermeable, está al menos parcialmente rodeada por el medio aislante y está al menos  
20 parcialmente sometida a un flujo del gas portador; una segunda bomba para transportar el gas portador dentro del aparato y para transportar el gas portador fuera del aparato; en la que no hay ninguna válvula que pueda utilizarse para transportar el gas portador dentro o fuera del aparato.

25 El documento US 2008/0088821 desvela un aparato en el que pueden detectarse y cuantificarse densidades de vapor de agua a una alta frecuencia de muestreo para un gas. El gas puede estar contenido en una cámara de muestras dentro o fuera del recinto de un instrumento. Un primer haz dividido atraviesa la carcasa y la cámara de muestras, mientras que un segundo haz dividido que sólo atraviesa la carcasa proporciona una referencia que puede utilizarse para corregir la humedad ambiente en la carcasa del instrumento.

30 El documento EP 2746747 desvela un conjunto de sensores para detectar un contenido de hidrógeno y humedad del líquido aislante de un equipo eléctrico lleno de líquido basado en la detección de radiación. El conjunto de sensores comprende una fuente de radiación electromagnética para emitir radiación electromagnética; una sección de detección de agua dispuesta para recibir un componente que contiene agua del líquido aislante cuando el conjunto de sensores está en conexión operativa con el equipo eléctrico y para ser iluminado por la radiación electromagnética procedente de la fuente de radiación electromagnética; un primer detector de radiación electromagnética configurado para detectar  
35 la radiación electromagnética procedente de la sección de detección de agua a una longitud de onda indicativa de una cantidad de agua presente en la sección de detección de agua; una sección de detección de hidrógeno dispuesta para recibir al menos un componente que contenga hidrógeno del líquido aislante cuando el conjunto de sensores esté en conexión operativa con el equipo eléctrico y para ser iluminada por la radiación electromagnética procedente de la al menos una fuente de radiación electromagnética; y un segundo detector de radiación electromagnética configurado para detectar la radiación electromagnética procedente de la sección de detección de hidrógeno en una longitud de  
40 onda indicativa de una cantidad de hidrógeno presente en la sección de detección de hidrógeno.

**SUMARIO**

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un transformador según la reivindicación 1.

45 La célula de gas está dispuesta para determinar características del gas extraído del fluido. En algunas realizaciones, un conducto de transporte puede acoplarse fluidamente con cada una de las bobinas de extracción y la célula de gas para transportar el gas recibido del fluido a la célula de gas para su análisis. En algunas realizaciones, la bobina de extracción puede estar formada como un conducto que tiene un volumen interior para recibir el gas que permea a través del material permeable al gas. En algunas realizaciones, una especie de gas que está tanto dentro del volumen interior como disuelta en el fluido puede estar en equilibrio.

50 En algunas realizaciones, el material permeable a los gases puede incluir un fluoropolímero. En algunas realizaciones, el material permeable al gas puede incluir un fluoroplástico que tiene al menos uno de los siguientes: un límite elástico dentro del intervalo de aproximadamente 26 MPa a aproximadamente 29 MPa a aproximadamente 73 °F, un límite elástico dentro del intervalo de aproximadamente 0,5 MPa a aproximadamente 13 MPa a aproximadamente 302 °F, un límite elástico dentro del intervalo de aproximadamente 4 MPa a aproximadamente 13 MPa a aproximadamente 428 °F. 5 MPa a unos 13 MPa a unos 302 °F, un límite elástico dentro del intervalo de unos 4 MPa a unos 13 MPa a  
55 unos 428 °F, un límite elástico dentro del intervalo de unos 24 MPa a unos 29 MPa a unos 73 °F, un límite elástico

dentro del intervalo de unos 1 MPa a unos 15 MPa a unos 302 °F, y un límite elástico dentro del intervalo de unos 3 MPa a unos 7 MPa a unos 428 °F. En algunas realizaciones, el fluoropolímero puede incluir un fluoroplástico con un porcentaje de transmisión óptica superior al 95 %. En algunas realizaciones, el fluoroplástico puede incluir un fluoroplástico que tenga una permeabilidad al gas de al menos uno de H<sub>2</sub>O de aproximadamente 1142 Barrer, O<sub>2</sub> de aproximadamente 340 Barrer, y N<sub>2</sub> de aproximadamente 130 Barrer.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los conceptos descritos en la presente divulgación se ilustran a modo de ejemplo y no de limitación en las figuras adjuntas. A fin de simplificar y aclarar la ilustración, los elementos ilustrados en las figuras no están necesariamente dibujados a escala. Por ejemplo, las dimensiones de algunos elementos pueden exagerarse con respecto a otros para mayor claridad. Además, cuando se ha considerado oportuno, se han repetido etiquetas de referencia entre las figuras para indicar elementos correspondientes o análogos. La descripción detallada se refiere en particular a las figuras adjuntas en las que:

La figura 1 es una vista en diagrama de un transformador eléctrico que muestra que el transformador incluye un sistema de análisis de gas para determinar las características de los gases disueltos en el fluido del transformador, y que el sistema de análisis de gas incluye una sonda de extracción permeable al gas para extraer gases del fluido y un módulo de análisis de gas para realizar análisis del gas extraído, y que muestra que la sonda de extracción y el módulo de análisis están conectados de forma fluida para formar un circuito de gas;

La figura 2 es una vista en alzado de una realización ilustrativa de un portal de muestras del transformador eléctrico de la figura 1 en sección transversal parcial para mostrar que un módulo de extracción que incluye la sonda de extracción está dispuesto para colocar la sonda de extracción en contacto con el fluido del transformador;

La figura 3 es una vista en perspectiva de una realización ilustrativa del módulo de extracción que muestra que la sonda de extracción está montada en un bastidor para formar el módulo de extracción;

La figura 4 es otra vista en perspectiva del módulo de extracción de la figura 3 que muestra que la sonda de extracción está formada como una bobina de extracción y está montada en un carrete del bastidor;

La figura 5 es una vista en diagrama del módulo de análisis de gases que muestra que el módulo de análisis de gases incluye una célula de gas que contiene gases extraídos y un espacio de referencia que contiene gases ambientales, y que muestra que el módulo de análisis de gases incluye una fuente de luz que proporciona un primer canal para medir el gas dentro de la célula de gas haciendo pasar un primer haz de luz a través de la célula de gas para su recepción por un primer detector, y un segundo canal para medir el gas dentro del espacio de referencia haciendo pasar un segundo haz de luz a través del espacio de referencia para su recepción por un segundo detector;

La figura 6 es una vista en perspectiva de la célula de gas del módulo de análisis de gas que muestra que la célula de gas incluye ventanas para el paso de la luz; y

La figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso del sistema de análisis de gases para determinar las características de los gases disueltos en el fluido del transformador.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

Aunque los conceptos de la presente divulgación son susceptibles de diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas de los mismos a modo de ejemplo en los dibujos y en el presente documento se describirán en detalle. Debe entenderse, sin embargo, que no hay intención de limitar los conceptos de la presente divulgación a las formas particulares divulgadas, sino por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas consistentes con la presente divulgación y las reivindicaciones anexas.

La figura 1 muestra una disposición ilustrativa de un transformador eléctrico 10 que incluye un sistema de análisis de gases 12 para determinar las características de los gases disueltos dentro del fluido del transformador 10. El transformador 10 incluye ilustrativamente una carcasa 14 que define un interior 16 y devanados eléctricos 18 dispuestos dentro del interior 16 de la carcasa 14. Los devanados eléctricos 18 comprenden ilustrativamente devanados de cableado eléctrico que forman una serie de vueltas alrededor de los miembros del transformador 10 para producir un efecto electromagnético cuando la corriente pasa a través del cableado. El transformador 10 se representa ilustrativamente como un transformador de alta tensión, trifásico, de tipo de núcleo, pero en algunas realizaciones, puede incluir cualquier tipo de dispositivo electromagnético, incluyendo pero no limitado a tipo de carcasa y/o monofásico o multifásico.

En la realización ilustrativa como se muestra en la figura 1, la carcasa 14 contiene fluido 20 para refrigerar y/o aislar eléctricamente los componentes del transformador 10, tales como los devanados eléctricos 18. Como se ha mencionado anteriormente, los gases disueltos pueden desarrollarse dentro del fluido 20 como resultado del uso operativo del fluido 20 para refrigeración y/o aislamiento (por ejemplo, por rotura del fluido y/o problemas operativos defectuosos del transformador 10, en general, incluyendo fugas en la carcasa 14) y/o el fluido 20 puede transportar

gases generados a partir de la degradación de otros materiales aislantes en el transformador, como el papel. El sistema de análisis de gas 12 está dispuesto de forma ilustrativa para extraer gases disueltos del fluido 20 para su análisis.

En referencia a la figura 1, el sistema de análisis de gas 12 incluye una sonda de extracción 22 para extraer gas del fluido 20. La sonda de extracción 22 está dispuesta en contacto con el fluido 20 y está formada por un material permeable al gas para permitir la permeación de los gases disueltos del fluido 20. La sonda de extracción 22 se representa de forma ilustrativa como un conducto que define un paso interior para recibir y comunicar gas. El material permeable a los gases permite, por ejemplo, que los gases disueltos penetren en el paso interior, al tiempo que impide la entrada de líquidos, por ejemplo, aceites dieléctricos. Los materiales permeables al gas adecuados pueden incluir uno o más fluoropolímeros. La sonda de extracción 22 está formada como una bobina de extracción que tiene bucles de bobina en contacto con el fluido 20. En otros ejemplos que no forman parte de la invención reivindicada, la sonda de extracción 22 puede tener cualquier forma adecuada.

Como se muestra en la Figura 1, el sistema de análisis de gas 12 incluye un módulo de análisis de gas 24 para realizar análisis de gas. El módulo de análisis de gas 24 está conectado fluidamente con la sonda de extracción 22 y forma un circuito de gas para la circulación de gas entre la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24. En la figura 1 se muestra una carcasa 25 ejemplar del módulo de análisis de gas 24. El módulo de análisis de gas 24 incluye ilustrativamente una celda de gas 26 para recibir el gas extraído del fluido 20. La célula de gas 26 incluye ilustrativamente un cuerpo de célula 28 que define una cavidad 30 a través de la cual se hace pasar el gas para su análisis. En la realización ilustrativa, el sistema de análisis de gas 12 realiza un análisis óptico del gas para determinar sus características. En la realización ilustrativa, las partes del circuito de gas distintas de la sonda de extracción 22, incluida la cavidad 30, están herméticamente selladas al aire ambiente, de forma que sólo la sonda de extracción 22 está dispuesta para permitir la permeación de gases hacia dentro y hacia fuera del circuito de gas, para de este modo permitir el intercambio de gases con el fluido del transformador 20.

Como se muestra en la Figura 1, el módulo de análisis de gas 24 incluye ilustrativamente un dispositivo de análisis de gas 32 para llevar a cabo el análisis de gas dentro de la celda de gas 26. En la realización ilustrativa, el dispositivo de análisis de gas 32 es un dispositivo óptico incorporado como un dispositivo de espectroscopia de luz, concretamente un espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). En algunas realizaciones, el módulo de análisis de gases 24 puede realizar cualquier tipo de técnicas de análisis de gases y puede incluir cualquier configuración y/o componentes adecuados para realizar dichas técnicas, por ejemplo, pero sin limitación, espectroscopia de luz ultravioleta, espectroscopia Raman, espectroscopia fotoacústica, espectroscopia de absorción láser de diodo sintonizable (TDLAS).

El dispositivo de análisis de gas 32 realiza ilustrativamente análisis de espectro de luz de gas dentro de la celda de gas 26. En algunas realizaciones, la célula de gas 26 puede utilizar técnicas de mejora de la longitud del camino óptico, tales como células multipaso o cavidades resonantes. Las células multipaso pueden incluir células White, células Herriot, células de trayecto plegado y/u otras células multipaso. Las cavidades resonantes pueden incluir cavidades Fabry-Perot, cavidades diseñadas para espectroscopia de anillo de cavidad, espectroscopia de salida de cavidad integrada (ICOS), espectroscopia de salida de cavidad integrada fuera del eje (OA-ICOS), y/u otras técnicas de mejora de la longitud del camino óptico.

Como se muestra en la Figura 1, el dispositivo 32 de análisis de gas incluye ilustrativamente una fuente 34 de luz y detectores 36, 38 para recibir luz de la fuente 34 de luz. Como se explica con más detalle a continuación, la fuente de luz 34 genera luz infrarroja (IR) que se propaga a través del gas para observar las características de absorción de luz del gas. La luz dirigida a través del gas es recibida por los detectores 36, 38. Los detectores 36, 38 se presentan ilustrativamente como fotodetectores que reciben luz propagada a través del gas (pero que no ha sido absorbida por el gas) y que generan una señal eléctrica que indica la luz recibida. Los detectores 36, 38 se incorporan ilustrativamente como detectores analógicos que generan una señal analógica que se convierte en una señal digital por medio de un convertidor analógico-digital. En algunas realizaciones, los detectores 36, 38 pueden incluir cualquier disposición adecuada de generación de señales para el análisis de gases.

El dispositivo de análisis de gas 32 determina ilustrativamente características del gas en base a la luz recibida por los detectores 36, 38. En las realizaciones ilustrativas, el módulo de análisis de gas 24 puede determinar las características del gas disuelto dentro del fluido 20 por medio del análisis del gas extraído por el sistema de análisis de gas 12 del transformador 10. Las características relevantes de los gases disueltos dentro del fluido 20 del transformador 10 incluyen la presencia y/o identificación de dichos gases y sus concentraciones disueltas dentro del fluido 20. Una lista no exhaustiva de gases de interés dentro del fluido 20 puede incluir, por ejemplo, oxígeno (O<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y/o hidrocarburos (por ejemplo, metano, etano, acetileno, y/o etileno), entre otros gases. El dispositivo de análisis de gas 32 también puede monitorizar el vapor de agua (H<sub>2</sub>O) extraído de la humedad disuelta en el aceite del transformador 20.

En referencia ahora a la figura 2, el transformador 10 se muestra en sección transversal parcial con fines descriptivos. La carcasa 14 del transformador 10 incluye ilustrativamente un portal de muestreo 40 que define una porción del interior 16 que contiene fluido 20 como parte de la carcasa 14. El portal de muestreo 40 incluye ilustrativamente una extensión de tubería 42 conectada con una pared 43 del transformador 10 y una cubierta 44 asegurada con la extensión de tubería 42. La sonda de extracción 22 está montada de forma ilustrativa dentro de la cubierta 44 en

- 5 contacto con el fluido 20. La sonda de extracción 22 está montada de forma ilustrativa dentro de una cámara de fluido 46 definida por la cubierta 44 como parte del interior 16. La cámara 46 ilustrativamente contiene fluido 20 como parte de la carcasa 14 y comunicando fluidamente a través de la extensión de tubería 42. En la realización ilustrativa, la extensión de tubería 42 incluye ilustrativamente una válvula 48 dispuesta fluidamente entre la pared 43 y la cámara 46 para permitir el aislamiento de la sonda de extracción 22, pero en algunas realizaciones, la válvula 48 puede excluirse. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 puede estar dispuesta en el interior de la pared 43.
- 10 El sistema de análisis de gas 12 incluye un módulo de extracción 50 como se muestra en las Figuras 2-4, El módulo de extracción 50 proporciona una plataforma de empaquetamiento para montar la sonda de extracción 22 dentro de la carcasa 14 como se muestra en la Figura 2. En referencia a las figuras 3 y 4, el módulo de extracción 50 incluye un bastidor de montaje 52 y la sonda de extracción 22 fijada con el bastidor de montaje 52. En la realización ilustrativa, una bomba 54 está montada en el bastidor 54 y está conectada fluidamente con la sonda de extracción 22 para proporcionar una fuente de presión motriz para la circulación de gas dentro del circuito de gas. Las válvulas de control y/u otros dispositivos de distribución de flujo para el funcionamiento del circuito de gas pueden montarse en el bastidor de montaje 52.
- 15 Como se muestra en las Figuras 3 y 4, el bastidor de montaje 52 incluye una pared de encaje 56 y un brazo de sonda 58 que se extiende desde la pared de encaje 56. La pared de compromiso 56 incluye ilustrativamente una cara 60 que forma al menos una porción de límite de fluido de la cámara 46. La pared de acoplamiento 56 soporta ilustrativamente el brazo de la sonda 58 para su extensión dentro de la cámara 46 para el contacto con el fluido 20.
- 20 En la realización ilustrativa como se muestra en las Figuras 3 y 4, y de acuerdo con la invención, el brazo de sonda 58 incluye un carrete 62 que tiene la sonda de extracción 22 (que de acuerdo con la invención es una bobina de extracción) enrollada alrededor del carrete 62. En la realización ilustrativa, la bobina de extracción se enrolla alrededor del carrete 62 para formar un número de vueltas de bobina que tienen una disposición sucesivamente apilada para la exposición al fluido 20. Aumentar el número de bobinas puede mejorar la superficie de intercambio efectiva entre la fase de aceite y la de gas y puede reducir el tiempo de respuesta de la medición. El gas circulado a través de la porción de la sonda de extracción 22 del circuito de gas ilustrativamente fluye sucesivamente a través de cada una de las vueltas de la bobina y hacia fuera para su circulación al dispositivo de análisis de gas 32. En la realización ilustrativa, la sonda de extracción 22 está conectada fluidamente con la bomba 54 para la comunicación del gas extraído a través del circuito de gas.
- 25 Como se muestra mejor en la figura 4, el carrete 62 está ilustrativamente en voladizo desde la pared de compromiso 56 y proporciona estructura para disponer la sonda de extracción 22 para el contacto con el fluido 20. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 puede fijarse al bastidor de montaje 52 de cualquier manera y/o disposición adecuadas. El carrete 62 está formado ilustrativamente como un bastidor estructural que define un lecho de carrete anular 61 para recibir la sonda de extracción 22 envuelta en él y que define aberturas 63 que se extienden a través del lecho de carrete 61 para permitir que el fluido 20 entre en contacto con porciones interiores de la sonda de extracción 22 para aumentar la superficie de intercambio efectiva entre la fase de aceite y la fase de gas. El carrete 62 tiene la forma ilustrativa de un cilindro hueco para permitir el paso del fluido 20 en su interior. El carrete 62 incluye ilustrativamente un puntal 65 que atraviesa radialmente el lecho del carrete 61 para proporcionar soporte estructural y definir aberturas 67 para permitir la circulación del fluido 20 a través del carrete 62.
- 30 Volviendo brevemente a la figura 1, como se ha mencionado anteriormente, la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 están conectados de forma fluida para definir un circuito de gas para la circulación de gas entre ellos. En la realización ilustrativa, la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 están conectados de forma fluida por medio del conducto de transporte 64 que incluye los segmentos de conducto 66, 68. El segmento 66 se representa ilustrativamente como un segmento de suministro para proporcionar gas desde la sonda de extracción 22 al módulo de análisis de gas 24 y el segmento 68 se representa como un segmento de retorno para proporcionar gas desde el módulo de análisis de gas 24 a la sonda de extracción 22.
- 35 Como se muestra mejor en la figura 4, el carrete 62 está ilustrativamente en voladizo desde la pared de compromiso 56 y proporciona estructura para disponer la sonda de extracción 22 para el contacto con el fluido 20. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 puede fijarse al bastidor de montaje 52 de cualquier manera y/o disposición adecuadas. El carrete 62 está formado ilustrativamente como un bastidor estructural que define un lecho de carrete anular 61 para recibir la sonda de extracción 22 envuelta en él y que define aberturas 63 que se extienden a través del lecho de carrete 61 para permitir que el fluido 20 entre en contacto con porciones interiores de la sonda de extracción 22 para aumentar la superficie de intercambio efectiva entre la fase de aceite y la fase de gas. El carrete 62 tiene la forma ilustrativa de un cilindro hueco para permitir el paso del fluido 20 en su interior. El carrete 62 incluye ilustrativamente un puntal 65 que atraviesa radialmente el lecho del carrete 61 para proporcionar soporte estructural y definir aberturas 67 para permitir la circulación del fluido 20 a través del carrete 62.
- 40 Volviendo brevemente a la figura 1, como se ha mencionado anteriormente, la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 están conectados de forma fluida para definir un circuito de gas para la circulación de gas entre ellos. En la realización ilustrativa, la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 están conectados de forma fluida por medio del conducto de transporte 64 que incluye los segmentos de conducto 66, 68. El segmento 66 se representa ilustrativamente como un segmento de suministro para proporcionar gas desde la sonda de extracción 22 al módulo de análisis de gas 24 y el segmento 68 se representa como un segmento de retorno para proporcionar gas desde el módulo de análisis de gas 24 a la sonda de extracción 22.
- 45 En la realización ilustrativa, la bomba 54 está dispuesta de forma fluida a lo largo del segmento de suministro 66 y proporciona un nivel de presión más bajo a la salida de la sonda de extracción 22 (en relación con la presión de la celda de gas 26), que puede ayudar a la extracción de gases disueltos. En algunas realizaciones, el circuito de gas puede estar formado sustancialmente o en su totalidad por la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 conectados entre sí de forma fluida por medio de conexión directa y/o con poco o ningún conducto de transporte 64. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 pueden combinarse parcial o totalmente en un módulo común y/o disponerse dentro de una carcasa común para una disposición compacta.
- 50 En la realización ilustrativa, la bomba 54 está dispuesta de forma fluida a lo largo del segmento de suministro 66 y proporciona un nivel de presión más bajo a la salida de la sonda de extracción 22 (en relación con la presión de la celda de gas 26), que puede ayudar a la extracción de gases disueltos. En algunas realizaciones, el circuito de gas puede estar formado sustancialmente o en su totalidad por la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 conectados entre sí de forma fluida por medio de conexión directa y/o con poco o ningún conducto de transporte 64. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24 pueden combinarse parcial o totalmente en un módulo común y/o disponerse dentro de una carcasa común para una disposición compacta.
- 55 El circuito de gas proporciona un bucle de circulación para la comunicación de gas entre la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24. En la realización ilustrativa, el circuito de gas favorece que el gas extraído del fluido 20 alcance y mantenga el equilibrio con los gases disueltos en el interior del fluido 20. Esta extracción pasiva y el análisis no destructivo pueden evitar los problemas prácticos que plantea el muestreo activo, tales como las fugas de fluidos, la contaminación y los materiales de desecho, entre otros. La extracción pasiva no depende de una determinación precisa de la tasa de extracción del gas y, por tanto, reduce la necesidad de calibrar en fábrica la tasa de extracción de cada analizador. Como se mencionó anteriormente, la bomba 54 ilustrativamente ayuda a la circulación del gas a través del circuito de gas y puede ayudar a la extracción, pero en algunas realizaciones, la
- 60 El circuito de gas proporciona un bucle de circulación para la comunicación de gas entre la sonda de extracción 22 y el módulo de análisis de gas 24. En la realización ilustrativa, el circuito de gas favorece que el gas extraído del fluido 20 alcance y mantenga el equilibrio con los gases disueltos en el interior del fluido 20. Esta extracción pasiva y el análisis no destructivo pueden evitar los problemas prácticos que plantea el muestreo activo, tales como las fugas de fluidos, la contaminación y los materiales de desecho, entre otros. La extracción pasiva no depende de una determinación precisa de la tasa de extracción del gas y, por tanto, reduce la necesidad de calibrar en fábrica la tasa de extracción de cada analizador. Como se mencionó anteriormente, la bomba 54 ilustrativamente ayuda a la circulación del gas a través del circuito de gas y puede ayudar a la extracción, pero en algunas realizaciones, la

circulación del gas a través del circuito de gas puede ser proporcionada por cualquier dispositivo adecuado (s), incluyendo pero no limitado a los arreglos de bombas redundantes o arreglos sin una bomba como convectiva y / o transporte difusivo.

5 En referencia ahora a la Figura 5, se muestra una ilustración diagramática del módulo 24 de análisis de gas. Como se ha mencionado anteriormente, el módulo de análisis de gas 24 incluye de forma ilustrativa el dispositivo de análisis de gas 32 dispuesto para llevar a cabo el análisis del gas dentro de la celda de gas 26. La fuente de luz 34 del dispositivo de análisis de gas 32 incluye ilustrativamente una fuente de generación de luz 70. En la realización ilustrativa, la fuente de generación de luz 70 incluye un interferómetro para modular la luz infrarroja media, por ejemplo, con una longitud de onda dentro de un intervalo de aproximadamente 1 micra a aproximadamente 50 micras (en algunas realizaciones ilustrativas), de aproximadamente 2,5 micras a aproximadamente 25 micras (en otras realizaciones ilustrativas), y de aproximadamente 2,5 a aproximadamente 16 micras (en otras realizaciones ilustrativas). La fuente de generación de luz 70 también incluye ilustrativamente al menos un generador de luz 72 para generar la luz infrarroja media y puede incluir varios relés, filtros y/u otros dispositivos de acondicionamiento (indicados colectivamente como 74) para proporcionar luz adecuada para el análisis de gases. Un ejemplo no limitativo de un generador de luz 72 adecuado puede incluir una barra incandescente (globalar). La fuente de luz 34 incluye ilustrativamente un espejo de relevo 76 dispuesto para recibir un haz de luz 78 de la fuente de generación de luz 70 y un divisor de haz 80 dispuesto para recibir el haz 78 del espejo de relevo 76.

20 Como se muestra en la Figura 5, el dispositivo 32 de análisis de gas incluye ilustrativamente dos canales ópticos como se explica en el presente documento. El divisor de haz 80 divide ilustrativamente el haz 78 en dos haces de luz 82, 84 para el análisis del espectro. El divisor de haz 80 se representa ilustrativamente para tener una relación de división de haz de 50:50 (divisor 50/50) dividiendo el haz 78 uniformemente en los dos haces 82, 84, pero en algunas realizaciones, el divisor de haz 80 puede tener otras relaciones de división de haz adecuadas. En algunas realizaciones, se puede emplear cualquier disposición adecuada de relés, filtros, divisores y/u otros dispositivos de acondicionamiento para propagar la luz en consecuencia para el análisis de gases. Los haces 82, 84 se propagan a través de los respectivos espacios definidos para ser recogidos por los detectores 36, 38.

30 En la realización ilustrativa como se muestra en la Figura 4, el análisis de los haces 82, 84 propagados a través de espacios definidos respectivos puede determinar características del gas extraído del fluido 20. El haz 82 se propaga ilustrativamente a través de la célula de gas 26 para ser recibido por el detector 36. El haz 82 ilustrativamente entra en la célula de gas 26 a través de una ventana 86, se propaga a través de la cavidad 30 para interactuar con el gas en ella, y sale de la célula de gas 26 a través de otra ventana 88. La luz del haz 82 que sale de la célula de gas 26 es recibida por el detector 36 para su análisis. El gas dentro de la cavidad 30 afecta al haz 82 de forma que la luz afectada recibida por el detector 36 puede indicar características del gas dentro de la cavidad 30. Como se explica más adelante, el detector 36 puede generar una señal relacionada con el espectro de absorción del gas dentro de la cavidad 30 en base a la luz recibida del haz 82.

35 En la realización ilustrativa, el gas dentro de la cavidad 30 absorbe energía del haz 82 en forma de radiación electromagnética. La energía restante del haz 82 atraviesa el gas y es recibida por el detector 36 para generar una señal relacionada con un espectro de absorción en la realización ilustrativa. El espectro de absorción del gas relevante puede incluir la fracción de radiación incidente absorbida por la muestra de gas (en este caso, el gas dentro de la cavidad 30) sobre un intervalo de longitudes de onda y/o frecuencias de luz propagada. Por medio del análisis de la luz recibida por el detector 36 (por ejemplo, pero sin limitación, la longitud de onda y/o la frecuencia de la misma), se pueden determinar de forma fiable las características del gas dentro de la cavidad 30. Además, las características de los gases disueltos dentro del fluido 20 pueden determinarse en base a las características del gas dentro de la cavidad 30. En algunas realizaciones, pueden utilizarse otras técnicas analíticas y/o equipos para determinar las características del gas. En algunas realizaciones, pueden incluirse dispositivos adicionales de análisis de gas en la célula de gas para detectar ciertos gases, tales como hidrógeno (H<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), y/o nitrógeno (N<sub>2</sub>), y algunos de esos dispositivos adicionales de análisis de gas pueden utilizar principios de medición no ópticos que no requieren la interacción del gas con la luz, tales como sensores resistivos, capacitivos, y/o termo-conductores, a modo de ejemplo.

50 La determinación precisa de las características del gas dentro de la cavidad 30 (y en última instancia de los gases disueltos dentro del fluido 20) debe tener en cuenta contaminantes y/o artefactos. Fuentes comunes de artefactos incluyen constituyentes dentro del aire contenido en el módulo de análisis de gas 24 y/o constituyentes dentro del aire en la vecindad del transformador 10 que pueden entrar en el módulo de análisis de gas 24. Por ejemplo, el aire ambiente dentro del módulo de análisis de gas 24 puede reducir la luz recibida por el detector 36 aunque no pueda entrar en la cavidad 30. En consecuencia, la información de referencia relativa al entorno ambiental puede ser útil para interpretar la luz recibida por el detector 36. En la presente divulgación, los términos "aire" y "aire ambiente" no pretenden limitar los constituyentes gaseosos que pueden considerarse, sino que pueden incluir cualquier constituyente gaseoso, incluidos los constituyentes de las mismas especies que los gases disueltos de interés en el fluido 20. Considerando dicha información de referencia del aire ambiente, las características del gas dentro de la cavidad 30 (y por correspondencia, las características de los gases disueltos dentro del fluido 20) pueden determinarse con precisión por medio de la corrección y/o calibración de la luz recibida por el detector 36 (espectro de absorción). Dichos enfoques correctivos pueden reducir la necesidad de purga, lavado, desecantes, ajuste de relés y/u otras técnicas cargadas de recursos o mecánicamente exigentes para lograr resultados precisos.

Como se muestra en la Figura 5, el haz 84 (dividido del haz 82) se propaga ilustrativamente a través de un espacio de referencia 90 para proporcionar características del aire ambiente como información de referencia. El espacio de referencia 90 ilustrativamente contiene gas ambiente (ilustrativamente encarnado como aire ambiente) que afecta al haz 84 de forma que la luz afectada recibida por el detector 38 puede indicar características del gas ambiente. Las características del gas ambiente pueden utilizarse para interpretar la luz recibida por el detector 36. El análisis de la luz recibida por el detector 36 en combinación con la luz recibida por el detector 38 puede permitir determinar las características del gas dentro de la cavidad 30 (y, por tanto, las características de los gases disueltos dentro del fluido 20) reduciendo los artefactos de la luz absorbida por el gas ambiente. La reducción de los artefactos procedentes de la luz absorbida por el gas ambiente se consigue ilustrativamente mediante la consideración de los espectros de absorción correspondientes percibidos por los detectores 36, 38. En algunas realizaciones, la información de referencia puede obtenerse por medio de cualquier técnica y/o equipo adecuados.

En la realización ilustrativa tal como se muestra en la Figura 5, el divisor de haz 80 proporciona efectivamente un punto fuente de referencia 92 para la propagación de la luz a través de los espacios definidos 30, 90. El punto de la fuente de referencia 92 se representa ilustrativamente como un único punto en el divisor de haz 80 a efectos descriptivos. Como se muestra en la figura 5, se define ilustrativamente una distancia de propagación  $d_i$  entre el punto fuente de referencia 92 y cada uno de los detectores 36, 38. Una primera distancia de propagación, denominada distancia de célula  $d_{célula}$ , se define ilustrativamente entre el punto fuente de referencia 92 y el detector 36. La distancia de célula  $d_{célula}$  corresponde ilustrativamente a la propagación del haz 82. Una segunda distancia de propagación, denominada distancia de referencia  $d_{Ref}$  se define ilustrativamente entre el punto de fuente de referencia 92 y el detector 38. La distancia de referencia  $d_{Ref}$  corresponde ilustrativamente a la propagación del haz 84. Una tercera distancia de propagación, denominada distancia del cuerpo celular  $L$ , se define ilustrativamente entre la primera ventana 86 y la segunda ventana 88 que delimitan la cavidad 30 de la célula de gas 26. En la realización ilustrativa, la distancia (span) resultante de la resta de la distancia del cuerpo de la célula  $L$  de la distancia de la célula  $d_{célula}$  (por ejemplo, el tramo puede incluir la suma de la distancia entre el punto de fuente de referencia 92 y la cavidad 30,  $S_1$ , y la distancia entre el detector 36 y la cavidad 30,  $S_2$ , como se indica en la Fig. 5, cualquiera de las cuales o ambas pueden contener gas ambiente) es sustancialmente igual a la distancia de referencia  $d_{Ref}$  de forma que las distancias de propagación en el aire ambiente entre el punto de la fuente de referencia 92 y cada uno de los detectores 36, 38 son sustancialmente iguales. En otras realizaciones, sin embargo, las distancias de propagación en el aire ambiente entre el punto fuente de referencia 92 y cada uno de los detectores 36, 38 pueden ser diferentes entre sí y puede aplicarse una correlación para equiparar sus correspondientes espectros de absorción.

En algunas realizaciones, la distancia de célula  $d_{célula}$  puede ser sustancialmente igual a la suma de la distancia de referencia  $d_{Ref}$  y la distancia del cuerpo de la célula  $L$ . En algunas realizaciones, las distancias de propagación entre el punto fuente de referencia 92 y cada uno de los detectores 36, 38 pueden ser sustancialmente iguales. En algunas realizaciones, las distancias de propagación pueden ser diferentes entre sí y se puede aplicar una correlación para equiparar sus espectros de absorción correspondientes.

En la realización ilustrativa, la fuente de luz 34 proporciona el haz de luz 78 para su división en haces 82, 84 para su propagación respectiva a través de cada una de la cavidad 30 y el espacio de referencia 90. De este modo, la fuente de luz 34 ilustrativamente proporciona cada uno de los haces 82, 84 simultáneamente desde la misma fuente para su uso en dos canales ópticos; un canal que analiza la luz propagada a través de la célula de gas 26, y otro canal que analiza la luz propagada a través del espacio de referencia 90. La disposición de doble canal mediante el uso de la misma fuente de luz puede favorecer la uniformidad entre las características espectrales de los canales y disminuir los parámetros ajustables (por ejemplo, ópticas móviles, modulación de la presión/temperatura de las muestras de gas) y/o el uso de materias primas (por ejemplo, gas de purga, desecantes, depuradores) en la obtención de lecturas fiables.

Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden ser ventajosos para la operación remota donde los productos básicos y/o la disponibilidad de mantenimiento son motivo de preocupación. Además, las disposiciones de la presente divulgación pueden tener en cuenta contaminantes inesperados y/o desconocidos, incluso sin identificar el contaminante exacto. En algunas realizaciones, la información de referencia del gas ambiente puede no identificar una o más de las sustancias en el módulo de análisis de gas 24 y/o situadas entre el generador de luz 72 y los detectores 36, 38. Sin embargo, la información de referencia de la sustancia no identificada aún puede tenerse en cuenta para determinar con precisión las características del gas dentro de la cavidad 30.

En referencia ahora a la Figura 6, se muestra una realización ilustrativa de la célula de gas 26. La célula de gas 26 incluye ilustrativamente una carcasa 94, que se muestra parcialmente cortada (y semitransparente) para revelar un cuerpo de célula 96 que define la cavidad 30 en la misma (siendo el cuerpo de célula 96 una realización ilustrativa del cuerpo de célula 28 de la Figura 1). El cuerpo celular 96 incluye ilustrativamente aberturas 98 que penetran a través del cuerpo celular 96 en los extremos opuestos 100, 102 para conectar con la cavidad 30. Cada abertura 98 está rodeada por una de las ventanas 86, 88 respectivas. El cuerpo celular 96 ilustrativamente incluye puertos de gas 104, 106 que penetran cada uno a través de la carcasa 94 y se conectan fluidamente con la cavidad 30 para formar una porción del circuito de gas para comunicar gas con la sonda de extracción 22.

El puerto de gas 104 se encarna ilustrativamente como un puerto de entrada (en relación con la célula de gas 26) para recibir gas de la sonda de extracción 22 y el puerto de gas 106 se encarna como un puerto de salida para enviar gas

a la sonda de extracción 22. El cuerpo celular 96 ilustrativamente incluye puertos 108 de sensores de presión y temperatura para la inserción de sensores 122, 124 de presión y temperatura (mostrados en la Figura 1) para monitorizar las condiciones dentro de la cavidad 30. Un calentador de célula 110 que incluye cables eléctricos 111 está conectado de forma ilustrativa con el cuerpo de la célula 96 dentro del alojamiento 94 para proporcionar control de temperatura de la cavidad 30.

En referencia a la Figura 7, se muestra un diagrama de flujo ilustrativo. Se describe un proceso 200 para determinar las características de los gases en relación con las cajas 202-208. En la casilla 202, los gases disueltos se extraen de forma ilustrativa del fluido 20 del transformador 10. En la realización ilustrativa, los gases disueltos se extraen por permeación en la sonda de extracción 22 para entrar en el circuito de gas. El proceso ilustrativamente procede de la caja 202 a la caja 204.

En la casilla 204, el gas extraído entra ilustrativamente en un campo de detección. En la realización ilustrativa, el gas extraído entra en el campo de detección a medida que circula a través de la célula de gas 26 y la luz se propaga a través del gas extraído para ser recibida por el detector 36. En las realizaciones en las que se utiliza información de referencia para la corrección, en la casilla 206, se detectan las características de los gases ambientales. En la realización ilustrativa, el segundo canal del módulo de análisis de gas 24 propaga la luz a través del espacio de referencia 90 y el gas ambiente en el mismo para su recepción por el detector 38. El proceso pasa de la casilla 204 a la 208.

En la caja 208, el gas dentro del campo de detección circula fuera del campo de detección. En la realización ilustrativa, el gas dentro de la célula de gas 26 circula a través del circuito de gas para volver a la sonda de extracción 22. La circulación del gas dentro del circuito de gas favorece las pruebas no destructivas y permite el equilibrio entre el gas en el circuito de gas y el gas disuelto dentro del fluido 20.

Volviendo brevemente a la Figura 1, el funcionamiento del sistema de análisis de gas 12 y los diversos procedimientos y funciones descritos en el presente documento se rige ilustrativamente por un sistema de control 112. El sistema de control 112 ilustrativamente incluye un procesador 114, un dispositivo de memoria 116, y un circuito de comunicaciones 118 en comunicación entre sí. El dispositivo de memoria 116 almacena instrucciones para su ejecución por el procesador 114 para llevar a cabo operaciones del sistema de análisis de gas 12. En la realización ilustrativa, las instrucciones incluyen al menos un algoritmo para llevar a cabo las operaciones divulgadas, pero en algunas realizaciones, las instrucciones pueden incluir cualquiera de las tablas de consulta, gráficos y/u otro material de referencia. El circuito de comunicaciones 118 ilustrativamente incluye varios circuitos dispuestos para enviar y recibir señales de comunicación entre el sistema de control 112 y varios componentes según lo dirigido por el procesador 114. Se apreciará que la circuitería de comunicaciones 118 también permite que el sistema de control 112 se comunique con otros dispositivos, incluidos dispositivos remotos, y a lo largo de diversas redes de comunicaciones, de forma que el sistema de análisis de gas 12 (así como el transformador 10) puedan conectarse y formar parte del Internet de las cosas. Como resultado, varios componentes del sistema de análisis de gas 12 pueden ser detectados y/o controlados remotamente a través de la infraestructura de red existente.

El sistema de control 112 está dispuesto ilustrativamente en comunicación con el módulo de análisis de gas 24 y la bomba 54 a través de enlaces de comunicación 120 para comunicar señales para gobernar su funcionamiento. Los enlaces de comunicación 120 incluyen ilustrativamente conexiones cableadas, pero en algunas realizaciones pueden incluir cualquiera de las conexiones cableadas e inalámbricas, y/o combinaciones de las mismas. En la realización ilustrativa, el sistema de control 112 está en comunicación con cada una de la fuente de luz 34, los detectores 36, 38, los sensores de temperatura y presión de la celda de gas 122, 124 a través de enlaces individuales 120, pero en algunas realizaciones, el sistema de control 112 puede estar en comunicación con componentes del módulo de análisis de gas 24 mediante uno o más enlaces compartidos 120. El sistema de control 112 realiza ilustrativamente el análisis espectral de la luz recibida por los detectores 36, 38 y determina las características del gas dentro de la cavidad 30 y las características correspondientes del gas disuelto dentro del fluido 20.

Como se muestra en la figura 1, el transformador 10 incluye ilustrativamente una bomba 126 dispuesta para hacer circular fluido 20 dentro de la carcasa 14. La circulación del fluido 20 puede ayudar a proporcionar una distribución uniforme de los gases disueltos y puede ayudar a que los gases extraídos alcancen un equilibrio preciso más rápido que con las condiciones de fluido estancado. En la realización ilustrativa, la bomba 126 es una bomba térmica que hace circular el fluido 20 por movimiento convectivo. En otras realizaciones, puede utilizarse cualquier dispositivo adecuado para hacer circular el fluido 20, incluyendo, por ejemplo, una bomba de desplazamiento y/o un agitador. En la realización ilustrativa, el sistema de control 112 está en comunicación con la bomba 126 para controlar su funcionamiento.

En la realización ilustrativa, el sistema de control 112 se encarna para gobernar las operaciones de todos los componentes del sistema de análisis de gas 12. En algunas realizaciones, el sistema de control 112 puede gobernar el funcionamiento de otros sistemas del transformador 10. En algunas realizaciones, el sistema de control 112 puede incluir múltiples procesadores, dispositivos de memoria y/o circuitos de comunicaciones que pueden tener cualquier disposición adecuada, incluyendo pero no limitándose a disposiciones dedicadas y parcial o totalmente compartidas. En algunas realizaciones, otro sistema de control 112 puede estar dedicado a gobernar la operación del módulo de análisis de gas 24 y el resto del sistema de análisis de gas 12 puede estar gobernado por el sistema de control 112.

## ES 3 014 025 T3

Como se ha mencionado anteriormente, la sonda de extracción 22 puede incluir un material permeable adecuado, por ejemplo, fluoropolímeros. Los materiales permeables a los gases adecuados pueden incluir, por ejemplo, pero sin limitación, fluoroplásticos amorfos como Teflon® AF y/o Chemours® AF, comercializados por Professional Plastics, Inc. (bajo afiliación y/o con permiso de DuPont®), con propiedades típicas como se muestra en la tabla siguiente:

Propiedades típicas de Teflon® AF	
Claridad óptica	Despejado: >95%
Temperatura de uso superior, °C (°F)	285 (545)
Estabilidad térmica, °C (°F)	360 (680)
Expansión térmica (lineal), ppm/°C	80
Absorción de agua	No
Resistencia a la intemperie	Destacado
Resistente a la llama LOI, %	95
Módulo de tracción, MPa (psi)	950-2150 (137, 786-311, 832)
Resistencia a la fluencia	Bien
Solubilidad	Disolventes seleccionados
Resistencia al ataque químico	Excelente
Energía sin superficie	Bajo
Índice de refracción	1,29-1,31
Constante dieléctrica	1,89-1,93

- 5 Ejemplos no limitantes pueden incluir Teflon® AF 1600 y/o Teflon® AF 2400 (y/o Chemours® AF 1600 y/o AF 2400) que tienen propiedades típicas como se describe dentro de la tabla siguiente:

### Datos de propiedades típicas de los fluoroplásticos amorfos Teflon® AF

Propiedad	Procedimiento ASTM	Unidad	Grado		
			1600	2400	
<b>Eléctrico</b>					
Constante dieléctrica	D150		1,93	1,90	
Factor de disipación	D150		0,0001-0,0002	0,0001-0,0003	
Rigidez dieléctrica	D149	kV/0,1 mm	2,1	1,9	
<b>Óptico</b>					
Transmisión óptica		D1003	%	>95	>95
Índice de refracción		D542		1,31	1,29
Número ABBE				92	113
<b>Mecánica</b>					
Límite elástico			MPa		
			23°C (73°F)	27,4 ± 1,0	26,4 ± 1,9

ES 3 014 025 T3

			150°C (302°F)	6,7 ± 5,9	
			220°C (428°F)		8,7 ± 4,0
Resistencia a la tracción		D638	MPa		
			23°C (73°F)	26,9 ± 1,5	26,4 ± 1,9
			150°C (302°F)	7,7 ± 6,1	
			220°C (428°F)		4,2 ± 1,8
Alargamiento a la rotura		D638	%		
			23°C (73°F)	17,1 ± 5,0.	7,9 ± 2,3.
			150°C (302°F)	89,3 ± 13,1.	
			220°C (428°F)		84 ± 4,1.
Módulo de tracción		D638	GPa	1,6	1,5
Módulo de flexión		D790	GPa		
			23°C (73°F)	1,8 ± 0,1.	1,6 ± 0,1.
			150°C (302°F)	1,0 ± 0,1.	
			220°C (428°F)		0,7 ± 0,1.
Dureza					
	Roca	D785	23°C (73°F)	103	97,5
	Durómetro	D1706	Orilla D		
			23°C (73°F)	77	75
			150°C (302°F)		
			220°C (428°F)	70	65
Resistencia al impacto		Izod con muescas	N	-	-
Temperatura de deflexión		D648	°C (°F)		
	(66 psi)			156(313)	200 (392)
	(264 psi)			154 (309)	174 (345)
<b>Química</b>					
Ángulo de contacto con el agua		D570	Grados	104	105

## ES 3 014 025 T3

Energía superficial crítica			Dinas/cm	15,7	15,6
Abrasión Taber			ciclos cc/2000	0,107	0,2
Resistencia química					
	Absorción de agua		%	<0,01	<0,01
Permeabilidad al gas					
	H <sub>2</sub> O		Barrer	1142	4026
	O <sub>2</sub>		Barrer	340	990
	N <sub>2</sub>		Barrer	130	490
	CO <sub>2</sub>		Barrer		2800
<b>Otros</b>					
T <sub>g</sub>	D3418	°C (°F)		160 (320) ± 5	240 (464) ± 10
Peso específico	D792			1,78	1,67
Viscosidad de fusión	D3835	Pa s		2657 a 250°C, 100 s <sup>-1</sup>	540 a 350°C, 100 s <sup>-1</sup>
Coefficiente de dilatación térmica volumétrica	E831	ppm/°C		260	301

En algunas realizaciones, puede aplicarse cualquier material adecuado para la extracción permeable al gas y resistente al líquido de gases disueltos del fluido del transformador.

5 La presente divulgación incluye dispositivos, sistemas y procedimientos para la gestión de aceite y gas para analizadores de gas disuelto para su uso en la monitorización de transformadores. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden incluir la detección de gases disueltos en el aceite aislante de equipos eléctricos mediante el uso de la teoría del equilibrio de gases. El equilibrio puede alcanzarse en relación con la solubilidad de un gas en un fluido de transformador 20, como aceites minerales, aceites a base de éster u otros fluidos aislantes, a una temperatura dada y para una presión parcial de vapor dada de un gas. La solubilidad de los gases puede describirse con magnitudes como los coeficientes de Ostwald de solubilidad de los gases, que son específicos del tipo de fluido y de cada gas constituyente y pueden depender de la temperatura. Los coeficientes de solubilidad del gas pueden utilizarse para relacionar la presión parcial del gas en la célula de gas con la concentración de gas disuelto en el petróleo. El hecho de que los gases extraídos estén en equilibrio con los gases disueltos en el petróleo puede proporcionar lecturas más precisas sin necesidad de conocer con exactitud las tasas de extracción. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 de la presente divulgación puede comprender al menos un anillo de tubería altamente permeable al gas que no es permeable al líquido. En algunas realizaciones, la sonda de extracción 22 puede estar conectada a un sistema de circulación cerrado. El sistema de circulación cerrada puede incluir una o más bombas para la circulación del gas y una célula de gas, por ejemplo, la célula de gas 26, para la medición analítica del gas.

20 La presente divulgación incluye dispositivos, sistemas y procedimientos adaptados para monitorizar la salud de un transformador midiendo los gases disueltos dentro del aceite aislante del transformador. Por ejemplo, la concentración de gases específicos puede dar indicaciones sobre aspectos concretos del funcionamiento del transformador. El muestreo directo del aceite y el análisis de los gases disueltos contenidos en el aceite del transformador utilizan la extracción activa de los gases y técnicas de medición activas que consumen los gases a través de los análisis. Suelen aplicarse haciendo circular y/o acondicionando muestras de aceite fuera del transformador en un circuito de aceite y pueden presentar un riesgo de fuga de aceite en caso de rotura del circuito de aceite. Por el contrario, las realizaciones de los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación permiten la medición en línea con alta precisión y sin extracción activa. En algunas de las realizaciones divulgadas, el aceite que contiene los gases disueltos circula alrededor del tubo de material altamente permeable dentro de una cámara de fluido 46 que se comunica fluidamente con el transformador 10 a través de la extensión de tubo 42. En algunas realizaciones, la circulación de aceite alrededor del tubo permeable puede ser generada por bomba, hélice y/u otros sistemas mecánicos y/o mediante el uso de convección inducida térmicamente. Los gases contenidos en el petróleo pueden atravesar el material permeable para llegar al circuito de fase gaseosa. Las propiedades del material permeable pueden ayudar a obtener

el equilibrio entre los gases en el líquido y los gases en el bucle de fase gaseosa. El bucle de gas puede incluir una célula de gas con entrada y salida ópticas que permite examinar los gases por medio de un analizador óptico.

5 Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden incluir tubos de fluoropolímero altamente permeables, tales como la familia de fluoroplásticos amorfos Teflon AF, a modo de ejemplo. El material  
10 altamente permeable al gas puede favorecer el equilibrio del gas y mejorar el tiempo de respuesta de la medición. El tubo puede enrollarse para formar una o varias vueltas de una bobina. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden incluir la circulación del fluido del transformador (por ejemplo, aceite) alrededor de esta bobina. Un anillo estructural puede soportar el tubo. De acuerdo con la presente divulgación, la tubería de fluoropolímero puede conectarse a un bucle de circulación de gas. El bucle de circulación de gas puede incluir una o  
15 más bombas para aumentar la fiabilidad. En algunas realizaciones, los tubos de acero inoxidable pueden transportar gas a una célula de gas para su análisis. En algunas realizaciones, un espectrómetro puede realizar el análisis de los gases. En algunas realizaciones, los sensores en el aceite pueden utilizarse para la medición de H<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden incluir la extracción pasiva de gases disueltos y su medición, en lugar de principios activos para la separación y medición de gases. En algunas realizaciones, la presente divulgación puede incluir el transporte de gases extraídos sin un medio portador (por ejemplo, un gas portador). En algunas realizaciones, se puede formar una presión más baja dentro de la sonda de extracción 22, relativa a la presión dentro de la celda de gas 26 para ayudar a la extracción de gases disueltos.

20 Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden utilizarse en la monitorización de transformadores y/o específicamente en la monitorización del análisis de gases disueltos en fluido de transformador tal como aceite. Para el análisis en fase gaseosa, pueden extraerse gases del aceite del transformador. La medición de los gases puede requerir un sistema complejo para su análisis y, en algunas realizaciones, la muestra de gas puede transportarse a un analizador de gases. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden ser útiles para evitar el transporte del propio aceite del transformador a un analizador, que puede presentar un riesgo de fuga de aceite en caso de rotura de la tubería.

25 El uso de medición pasiva y extracción pasiva de los gases puede simplificar la calibración e instalación de sistemas de análisis de gases. El uso de material de alta porosidad y/o alta permeabilidad puede ayudar a alcanzar el equilibrio entre los gases del petróleo y los gases de la fase gaseosa de la muestra. El uso de gases de equilibrio, sin necesidad de muestrear nuevos gases, puede reducir el riesgo de contaminación del aceite. El uso de una presión más baja (en relación con la presión dentro de la célula de gas) en la sonda de muestreo de gas puede reducir el tiempo de respuesta  
30 de los sistemas. El uso de varias bombas de transporte puede ayudar a reducir el riesgo de fallos. En algunas realizaciones, la medición de H<sub>2</sub> puede llevarse a cabo en fase gaseosa para reducir el coste. En algunas realizaciones, la medición de O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, y/o N<sub>2</sub> puede realizarse ópticamente y/o con sensores no ópticos. En algunas realizaciones, el O<sub>2</sub> puede medirse por medio de un analizador paramagnético. En algunas realizaciones, la detección de fugas de gas puede llevarse a cabo controlando la presencia de CO<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>O con la célula de gas, ya sea por medio de muestreo directo y/o indirecto. Los presentes dispositivos, sistemas y procedimientos divulgados pueden implicar análisis avanzados e identificación de interferentes y atípicos.

35 La presente divulgación incluye dispositivos, sistemas y procedimientos para analizadores ópticos de gas de doble canal para la compensación de los constituyentes del aire ambiente. Los espectrómetros pueden utilizarse para medir los espectros de absorción de luz de los gases. Cuando los gases de interés en una muestra bajo observación también están presentes en el aire ambiente (por ejemplo, aire en el analizador y/o alrededor del sistema de muestreo) o cuando otros gases en el aire ambiente podrían interferir con la medición de los gases de interés, los espectrómetros a menudo deben ser purgados, por ejemplo, con un gas purificado para determinar la contribución debida a la absorción de sólo los gases de interés en la muestra de gas. La presente divulgación incluye dispositivos, sistemas y procedimientos para reducir y/o eliminar la necesidad de acondicionar el aire en el analizador o alrededor del sistema de muestreo. La presente divulgación incluye espectrómetros con dos canales de medición. Un canal puede recibir la luz que se propaga a través del aire ambiente y a través de una célula de gas de muestreo. A continuación, la luz transmitida es detectada por un fotodetector que genera una señal eléctrica que se digitaliza por medio de un convertidor analógico-digital. Otro canal recibe únicamente la luz que se propaga a través del aire ambiente. A diferencia del primer canal, la luz de este segundo canal no se propaga a través de la célula de gas de muestreo. La contribución de la absorción de gas a la luz transmitida en este segundo canal está relacionada con los componentes del aire ambiente. La luz transmitida de este segundo canal es detectada por un segundo fotodetector que genera una señal eléctrica que se digitaliza por medio de un segundo convertidor analógico-digital.

40 Los dispositivos, sistemas y procedimientos dentro de la presente divulgación pueden incluir fuentes de luz que dividen la luz (por ejemplo, por medio de divisor de haz, divisor de luz, y/o cualquier otra técnica adecuada de división de luz), una celda de gas que puede contener uno o muchos gases de interés, componentes para insertar gases en la celda de gas, un primer detector que mide la luz transmitida a través de la celda de gas y a través del aire ambiente, un segundo detector que mide la luz transmitida sólo a través del aire ambiente, un procesador para determinar la concentración de uno o más gases presentes en la celda de gas de muestreo a partir de la señal del primer canal, y eliminar interferencias y/o contribución de gases en el aire ambiente del primer canal en base a la señal de aire ambiente registrada desde el segundo canal.

- 5 En algunas realizaciones, una fuente de luz puede ser modulada por un interferómetro. La fuente de luz puede dividirse en dos haces diferentes por medio de un divisor de haz de ZnSe en cuña 50/50. Uno de los haces puede propagarse a través de la célula de gas y alcanzar el detector de la célula de gas. El otro haz puede dirigirse hacia un detector de referencia, para detectar únicamente la composición del aire ambiente. La distancia de propagación en el aire ambiente puede ajustarse para ambos haces. El ajuste puede realizarse de forma que tanto la luz transmitida por la célula de gas y que llega al primer detector como la luz que llega al detector de referencia del segundo canal se propaguen a través de distancias similares en el aire ambiente. En algunas realizaciones, puede suponerse que la composición del aire ambiente en el instrumento es homogénea, y la absorción de luz debida a los gases del aire ambiente debe ser proporcional a la concentración de gases, así como a la distancia de propagación respectiva de ambos canales.
- 10 En algunas realizaciones, la célula de gas puede ser un recipiente cerrado con una entrada y una salida para conectar fluidamente para formar un bucle de circulación de gas. La luz del interferómetro puede entrar en la célula de gas por un lado y salir por el otro hacia el detector de la célula de gas. La temperatura de la célula de gas puede controlarse por medio de un calentador de cartucho. La presión y la temperatura de los gases en la célula de gas pueden medirse y utilizarse como parámetros de entrada para el cálculo de las concentraciones de gases.
- 15 La presente divulgación incluye dispositivos, sistemas y procedimientos en los que se puede reducir y/o eliminar la necesidad de un sistema de purga. Reducir y/o eliminar la necesidad de un sistema de purga puede ser una ventaja cuando un analizador está situado en zonas remotas y no se dispone de sistemas de purga y/o su instalación y funcionamiento son costosos. La concentración de gases en la célula de gas que también pueden estar presentes en el aire ambiente puede determinarse sin purga, depurador, desecante y/o sellado del analizador. Otros gases del aire ambiente que tienen firmas de absorción que pueden interferir con la determinación de la concentración de gases en la célula de gas también pueden compensarse sin purga, depurador, desecante y/o sellado. Con las enseñanzas de la presente divulgación, los gases del aire ambiente pueden medirse simultáneamente con los gases de la célula de gas si se desea, a diferencia de los procedimientos de calibración en los que sólo puede utilizarse un canal. La calibración de un solo canal puede realizar una medición de fondo de referencia tomada aparte y/o sin los gases de interés en la célula de gas. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden proporcionar una ventaja cuando la composición del aire ambiente varía con el tiempo. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden incluir la calibración de la intensidad espectral de la fuente y la calibración de las características espectrales de los componentes ópticos que son comunes al primer y al segundo canal.
- 20 La presente divulgación se utiliza en el campo de la monitorización de transformadores por medio de análisis de gases disueltos. Las enseñanzas de la presente divulgación son generalmente aplicables a otros campos en los que los procedimientos ópticos requieren purga, depurador, desecante y/o sellado para calibrar, eliminar y/o corregir los constituyentes del aire ambiente, pero esto no forma parte de la invención reivindicada.
- 25 Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden proporcionar una alternativa a los sistemas que toman mediciones de referencia mediante el uso de un solo detector, por medio de la eliminación de los gases de interés de la celda de gas y/o la derivación de la celda de gas.
- 30 Medir gases de baja concentración por espectroscopia con precisión puede ser un reto, particularmente cuando los mismos gases u otros gases interferentes están presentes en el aire ambiente, ya sea en el analizador o alrededor del sistema de muestreo. La concentración de estos gases en el aire ambiente y/o la distancia de propagación relativa de la luz en el aire ambiente podrían ser no despreciables en comparación con la concentración de los gases en la célula de gas y la distancia de propagación en la célula de gas. Además, la concentración de estos gases en el aire ambiente puede variar con el tiempo, y en algunos lugares pueden aparecer gases inesperados en el aire ambiente. La presión y la temperatura del aire ambiente pueden diferir de la presión y la temperatura de la muestra de gas en la célula de gas.
- 35 A fin de eliminar la contribución de los gases del aire ambiente, los analizadores suelen purgarse con gases purificados (a modo de ejemplo, el espectrómetro MB3000 comercializado por ABB Inc, incluye una opción de purga). La purga puede requerir botellas de gases purificados, como el nitrógeno, y/o un generador de gas purificado. El aire de purga suele secarse para eliminar la humedad, que puede ser un factor de interferencia importante en algunos casos, y el CO<sub>2</sub> suele eliminarse también con un depurador. En otros sistemas en los que no es posible y/o deseable una purga, se utilizan desecantes y/o depuradores para eliminar la humedad y/u otros gases, pero deben ser sustituidos o regenerados al cabo de cierto tiempo. Otras técnicas ejemplares pueden incluir el movimiento de espejos de relé a la célula de gas dentro y fuera del primer canal a fin de eludir la célula de gas y dirigir la luz al detector para tomar la medición de fondo. La óptica de retransmisión puede diseñarse de forma que la distancia de propagación en el aire con y sin la óptica de retransmisión sea la misma. Otras técnicas ejemplares pueden incluir el uso de un depurador para eliminar el componente gaseoso de interés de la célula de gas después de medir la muestra de gas con el componente gaseoso de interés e inferir su concentración mediante la comparación de esas dos mediciones alternativas. Otras técnicas pueden variar la presión y/o la temperatura de la muestra de gas para distinguir su composición de la del aire ambiente. En los casos en que el gas de purga se suministre desde una fuente agotable, tal como una botella, será necesario rellenar y/o cambiar la fuente agotable a intervalos de mantenimiento periódicos. Los generadores de purga pueden ser equipos costosos que también pueden requerir mantenimiento. Los depuradores y los desecantes también requieren mantenimiento. De este modo, los sistemas basados en la purga pueden aumentar el coste de funcionamiento de los espectrómetros.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

5 Como se ha mencionado anteriormente, la presente divulgación puede incluir la reducción y/o eliminación de la necesidad de un sistema de purga, desecantes, depuradores y/o sellado de instrumentos. En consecuencia, los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden reducir los costes de instalación y/o mantenimiento relacionados con el espectrómetro, y pueden permitir soluciones para emplazamientos remotos en los que no se dispone de sistemas de purga y/o el mantenimiento no puede realizarse con frecuencia debido a cuestiones de coste y/o seguridad. En algunas realizaciones, los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación no requieren ópticas móviles y/o modulación de la presión del gas de muestra, y los constituyentes del aire ambiente pueden medirse simultáneamente con los constituyentes de la célula de gas.

10 Puesto que los espectrómetros que utilizan ciertas enseñanzas de la presente divulgación pueden medir espectros del aire ambiente, también pueden detectar y/o compensar gases inesperados presentes en el aire ambiente, a diferencia de los depuradores que están diseñados para constituyentes específicos. Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden utilizarse para detectar otros defectos alrededor del transformador, por ejemplo, pero sin limitación, la detección de fugas de gas aislante, como SF<sub>6</sub>. Al medir y eliminar la absorción del aire ambiente, los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden reducir la sensibilidad a las composiciones del aire ambiente. Puede que no sea necesario controlar la composición del aire en el interior del analizador óptico y/o alrededor del sistema de muestreo mediante el uso de sistemas de purga, desecantes, depuradores y/o sellado de instrumentos.

20 En algunas realizaciones, los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden utilizar calibración de fábrica para caracterizar la diferencia de distancias de propagación de la luz en el aire entre los canales primero y segundo. En algunas realizaciones, los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden utilizar la calibración de fábrica del sistema para medir la respuesta espectral del primer y segundo detectores, así como la respuesta espectral de componentes ópticos no comunes al primer y segundo canal. En algunas realizaciones, los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden utilizar la calibración de fábrica para caracterizar la respuesta espectral y/o la forma de línea del instrumento de los canales primero y segundo con el fin de mejorar la compensación de los constituyentes del aire en el primer canal mediante el uso del segundo canal. La calibración de fábrica puede incluir la purga del analizador. La presente divulgación incluye técnicas desarrolladas para ajustar la posición de los componentes del sistema (espejos, lentes, detectores, etc.) para minimizar la diferencia de distancia de propagación de la luz en el aire entre el primer y el segundo canal. En algunas realizaciones, se pueden utilizar uno o más algoritmos para compensar los componentes ambientales del primer canal mediante el uso de la señal del segundo canal.

35 Si bien se han descrito en detalle ciertas realizaciones ilustrativas en las figuras y en la descripción precedente, tal ilustración y descripción debe considerarse de carácter ejemplar y no restrictivo, entendiéndose que sólo se han mostrado y descrito realizaciones ilustrativas y que se desea proteger todos los cambios y modificaciones que entren dentro del alcance de las reivindicaciones. La presente divulgación presenta una pluralidad de ventajas derivadas de las diversas características de los procedimientos, sistemas y artículos descritos en la presente memoria. Se observará que las realizaciones alternativas de los procedimientos, sistemas y artículos de la presente divulgación pueden no incluir todas las características descritas y aun así beneficiarse de al menos algunas de las ventajas de dichas características. Los expertos en la técnica pueden idear fácilmente sus propias implementaciones de los procedimientos, sistemas y artículos que incorporan una o más de las características de la presente divulgación y que entran dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un transformador (10), que comprende:
  - al menos un bobinado eléctrico (18);
  - un sistema de fluido que incluye fluido (20) para aislar el al menos un devanado eléctrico (18); y
  - un sistema de análisis de gas (12) para determinar las características del gas disuelto en el fluido (20) del sistema de fluido, el sistema de análisis de gas (12) que incluye una bobina de extracción (22) y una célula de gas (26) para el análisis del gas, la bobina de extracción (22) dispuesta en contacto con el fluido (20) e incluyendo un material permeable al gas para recibir el gas disuelto del fluido (20), la bobina de extracción (22) y la célula de gas (26) en comunicación fluida para formar un bucle de circulación de gas para hacer circular el gas, en la que la célula de gas (26) está dispuesta para determinar las características del gas extraído del fluido (20), **caracterizado en que** el sistema de análisis de gases (12) incluye un módulo de extracción (50) para montar la bobina de extracción (22) dentro de una carcasa (14) del transformador (10), comprendiendo el módulo de extracción (50): un bastidor de montaje (52) que incluye una pared de enganche (56) y un brazo de sonda (58) que se extiende desde la pared de enganche, en el que el brazo de sonda (58) incluye un carrete (62) que tiene la bobina de extracción (22) enrollada alrededor del carrete (62).
2. El transformador (10) de la reivindicación 1, en el que el bucle de circulación de gas incluye además un conducto de transporte (64) acoplado fluidamente con cada una de la bobina de extracción (22) y la célula de gas (26) para transportar el gas recibido del fluido (20) a la célula de gas (26) para su análisis.
3. El transformador (10) de la reivindicación 2, que comprende además una fuente de presión motriz (54) para hacer circular gas a través del conducto de transporte (64).
4. El transformador (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que la bobina de extracción (22) está formada como un conducto que tiene un volumen interior para recibir el gas que permea a través del material permeable al gas.
5. El transformador (10) de la reivindicación 4, en el que una especie de gas que se encuentra tanto dentro del volumen interior como disuelta en el fluido (20) está en equilibrio.
6. El transformador (10) de cualquier reivindicación anterior, en el que el material permeable al gas incluye un fluoropolímero.
7. El transformador (10) de la reivindicación 6, en el que el material permeable al gas incluye un fluoroplástico que tiene al menos uno de los siguientes: un límite elástico dentro del intervalo de aproximadamente 26 MPa a aproximadamente 29 MPa a aproximadamente 73 °F, un límite elástico dentro del intervalo de aproximadamente 0,5 MPa a aproximadamente 13 MPa a aproximadamente 302 °F, un límite elástico dentro del intervalo de aproximadamente 4 MPa a aproximadamente 13 MPa a aproximadamente 428 °F, 5 MPa a unos 13 MPa a unos 302 °F, un límite elástico dentro del intervalo de unos 4 MPa a unos 13 MPa a unos 428 °F, un límite elástico dentro del intervalo de unos 24 MPa a unos 29 MPa a unos 73 °F, un límite elástico dentro del intervalo de unos 1 MPa a unos 15 MPa a unos 302 °F, y un límite elástico dentro del intervalo de unos 3 MPa a unos 7 MPa a unos 428 °F.
8. El transformador (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que la bobina de extracción (22) incluye un número de bucles de bobina cada uno de los cuales permite que el gas disuelto permee en su interior.
9. El transformador (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que la célula de gas (26) tiene una cavidad para recibir gas para análisis y forma parte de un analizador de gas (24) que incluye además una fuente de luz (34) y al menos un detector de luz (36, 38) para recibir luz de la fuente de luz (34).
10. El transformador (10) de la reivindicación 9, en el que la fuente de luz (34) está dispuesta para pasar luz desde un lado de la célula de gas (26) a través de gas dentro de la cavidad (30) de la célula de gas (26) a otro lado de la célula de gas (26), y el al menos un detector de luz (36) está dispuesto en el otro lado para recibir luz de la fuente de luz (34).
11. El transformador (10) de cualquier reivindicación de procedimiento, en el que:
  - el bucle de circulación de gas incluye un conducto de transporte (64) acoplado fluidamente con cada una de la bobina de extracción (22) y la célula de gas (26) para transportar gas entre la bobina de extracción (22) y la célula de gas (26) para su análisis,
  - el conducto de transporte (64) incluye una bomba (54) acoplada fluidamente con la bobina de extracción (22) para hacer circular gas a través del conducto de transporte (64), y
  - la bomba (54) está acoplada fluidamente con la bobina de extracción (22) para proporcionar una presión más baja en una salida de la bobina de extracción (22) en relación con una presión dentro de la celda de gas (26).

12. El transformador (10) de la reivindicación 11, en el que:  
la bomba (54) está montada en el bastidor de montaje (52).
13. El transformador (10) de la reivindicación 12, en el que:  
la bobina de extracción (22) se enrolla alrededor del carrete (62) para formar un número de vueltas de bobina que  
5 tienen una disposición sucesivamente apilada para su exposición al fluido (20).
14. El transformador (10) de la reivindicación 13, en el que:  
el carrete (62) incluye un lecho de carrete anular (61) para recibir la bobina de extracción (22) envuelta en el mismo,  
en el que el lecho de carrete anular (61) define aberturas (63) que se extienden a través del lecho de carrete anular  
(61) que permiten que el fluido (20) entre en contacto con porciones interiores de la bobina de extracción (22).
- 10 15. El transformador (10) de la reivindicación 14, en el que:  
el carrete (62) incluye un puntal (65) que puentea radialmente a través del lecho anular del carrete (61) para  
proporcionar soporte estructural y definir aberturas (67) para permitir la circulación del fluido (20) a través del  
carrete (62).

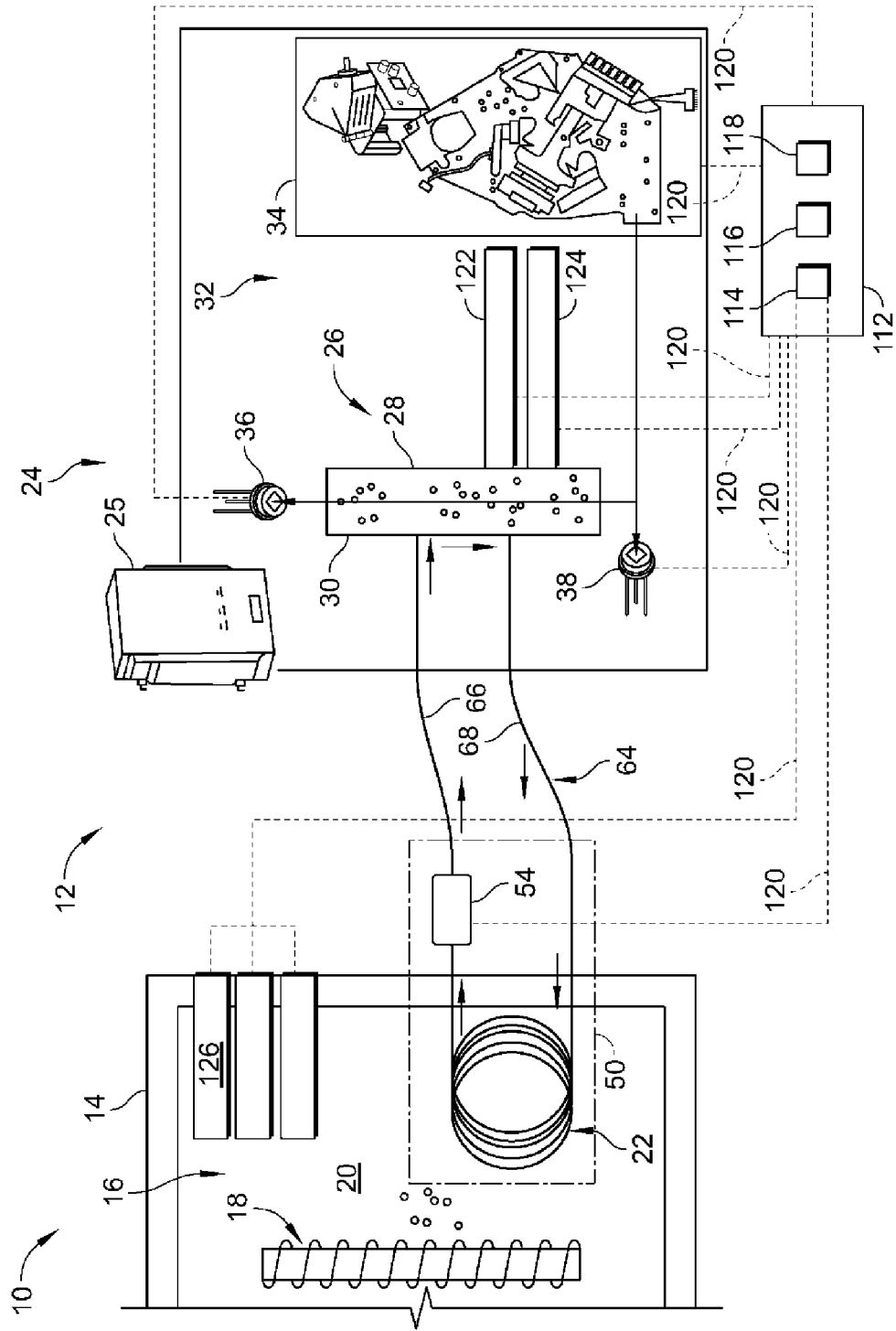


FIG. 1

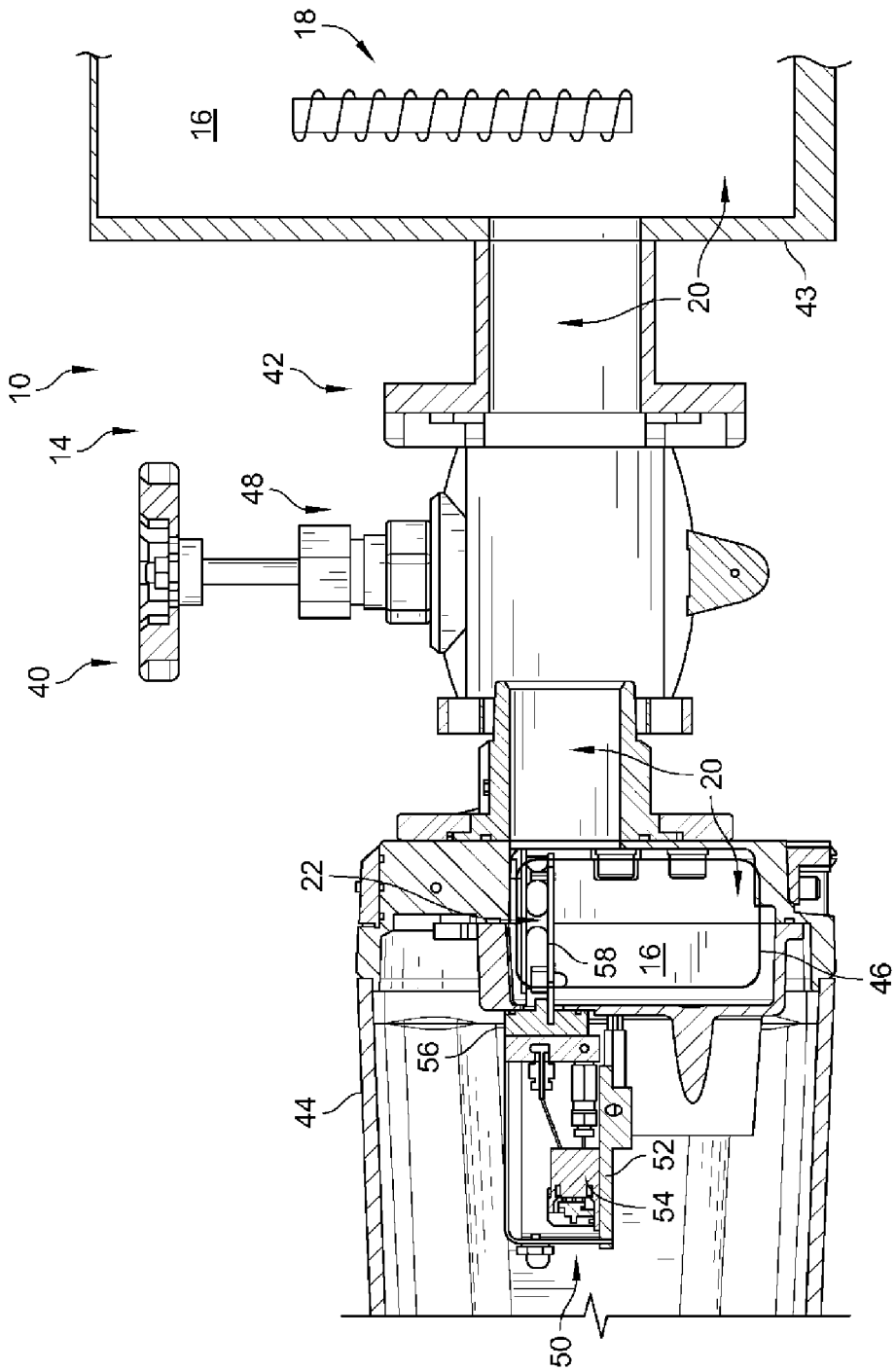


FIG. 2

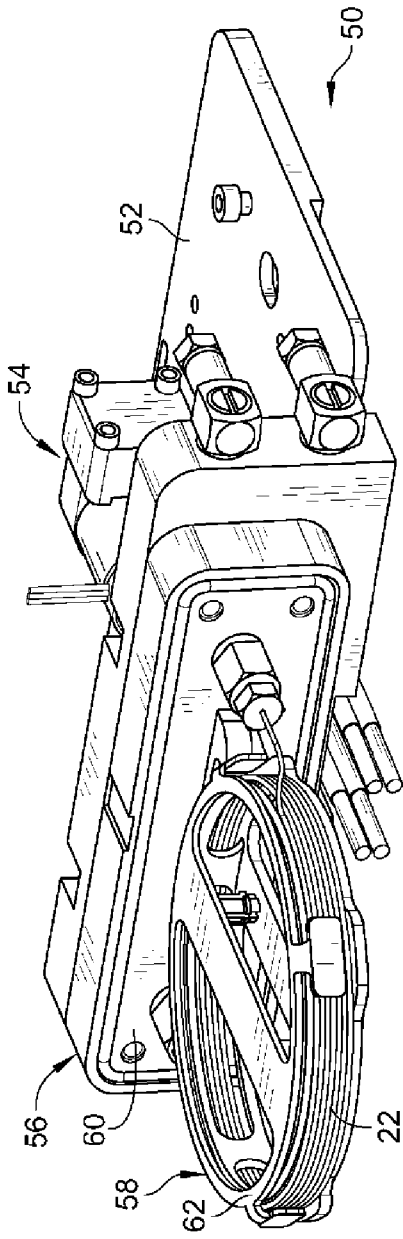


FIG. 3

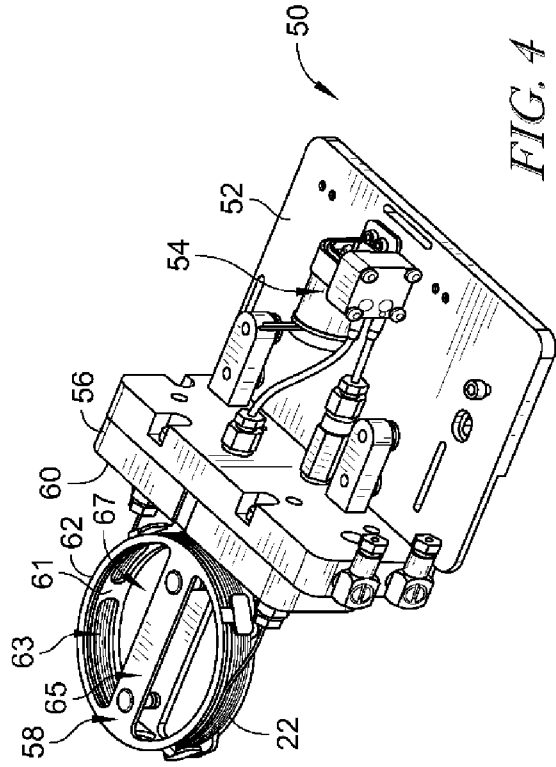


FIG. 4



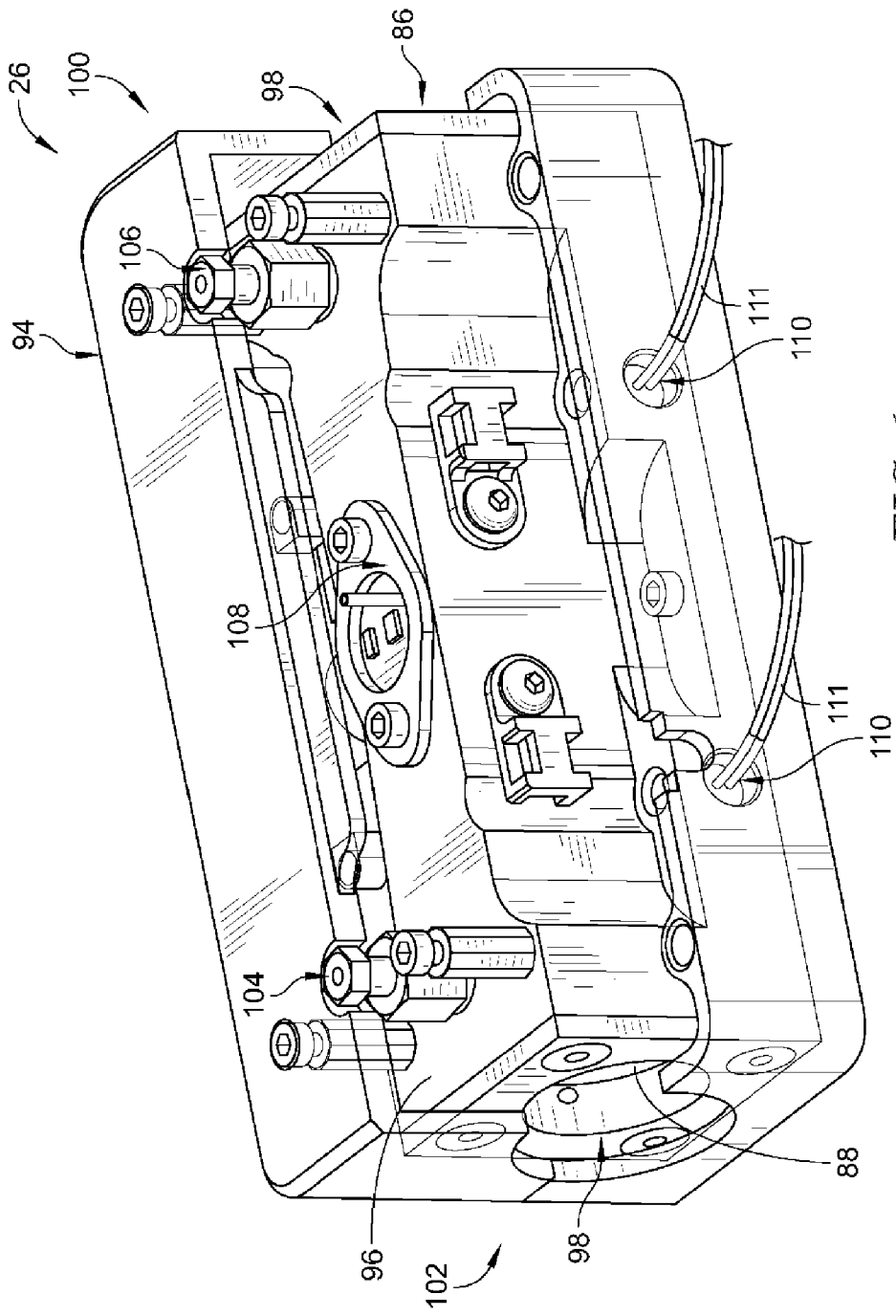
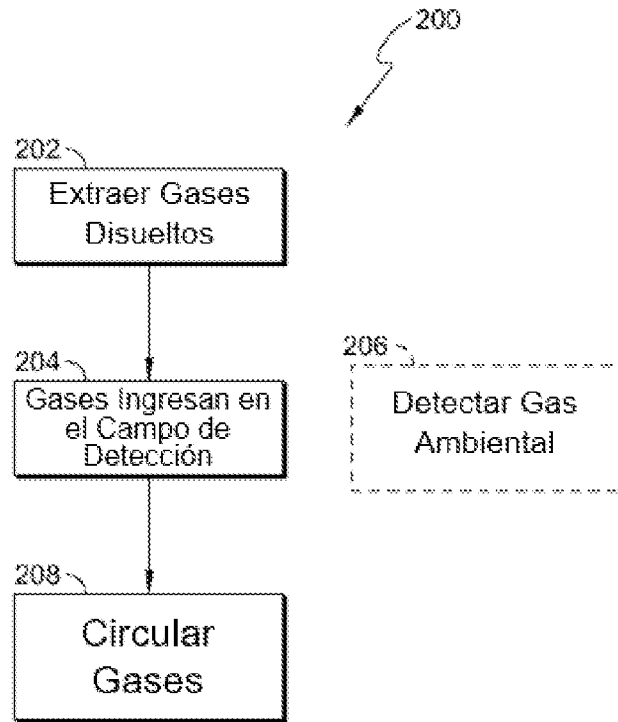


FIG. 6



*FIG. 7*